Elementy kryptografii

Materiały pomocnicze do wykładu

Bezpieczeństwo systemów informatycznych

Elementy kryptografii

Kryptologia

Kryptologia

Kryptografia (utajnianie informacji)

Kryptoanaliza (łamanie szyfrów)

Rywalizacja kryptoanalityków i kryptografów

Podstawowe procesy

Szyfrowanie – proces, w którym wiadomość (*tekst jawny*) jest przekształcana w inną wiadomość (*kryptogram – tekst zaszyfrowany*) za pomocą funkcji matematycznej oraz hasła szyfrowania (*klucza*)

Deszyfrowanie – proces, w którym *kryptogram* jest przekształcany z powrotem na oryginalny *tekst jawny* za pomocą pewnej funkcji matematycznej i *klucza*.

Klucz kryptograficzny - ciąg symboli, od którego w sposób istotny zależy wynik przekształcenia kryptograficznego

Zastosowanie kryptografii

- ochrona przed nieautoryzowanym ujawnieniem informacji przechowywanej na komputerze,
- ochrona informacji przesyłanej między komputerami,
- potwierdzanie tożsamości użytkownika,
- potwierdzanie tożsamości programu żądającego obsługi,
- uniemożliwianie nieautoryzowanej modyfikacji danych.

Szyfrowanie jest tylko jednym z elementów strategii utrzymywania bezpieczeństwa

Przestrzeń kluczy kryptograficznych

Długość klucza (w bitach)	Ilość kombinacji
40	$2^{40} \approx 1.1 * 10^{12}$
56	$2^{56} \approx 7.2 * 10^{16}$
64	$2^{64} \approx 1.8 * 10^{19}$
112	$2^{112} \approx 5.2 * 10^{33}$
128	$2^{128} \approx 3.4 * 10^{38}$

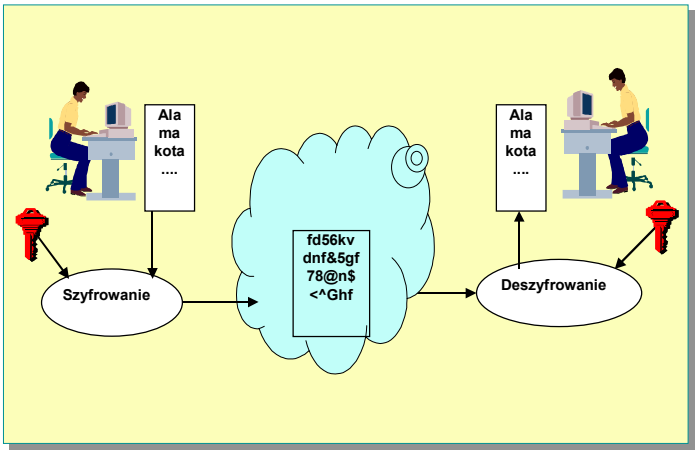
Moc kryptograficzna

Zdolność systemu kryptograficznego do ochrony danych przed atakami

Warunkuje ją:

- tajność klucza
- trudność odgadnięcia klucza
- trudność *odwrócenia* algorytmu szyfrowania bez znajomości klucza
- istnienie sposobów odszyfrowania danych bez znajomości klucza
- możliwość odszyfrowania kryptogramu na podstawie znajomości części tekstu jawnego

Szyfrowanie symetryczne



Szyfrowanie symetryczne

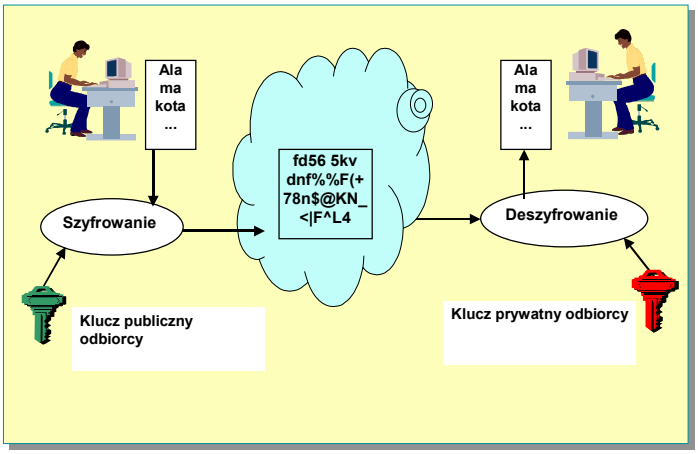
Algorytmy z kluczem prywatnym

Szyfr Cezara *skipjack* *IDEA* *RC2*
RC4 *RC5* *DES* *3DES*

Tryby pracy

- ECB (*Electronic Code Book*) - elektroniczna książka kodów.
- CBC (*Cipher Block Chaining*) - wiązanie bloków zaszyfrowanych.
- CFB (*Cipher FeedBack*) - szyfrowanie ze sprzężeniem zwrotnym.
- OFB (*Output FeedBack*) - szyfrowanie ze sprzężeniem zwrotnym wyjściowym.

Szyfrowanie asymetryczne



Szyfrowanie asymetryczne

Algorytmy z kluczem publicznym

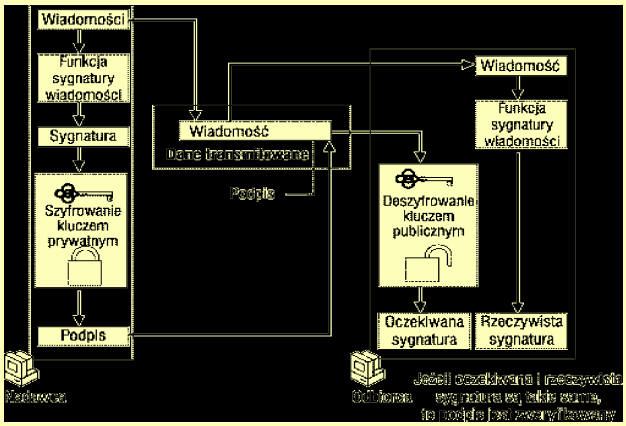
DSA *ElGamal* *RSA*

Algorytmy haszujące

MD2 **MD4** **MD5**

SHA **Snefru** **Haval**

Podpis cyfrowy *RSA Data Security*



Dystrybucja kluczy – protokół Cerbera

1. Abonent 1 wysyła żądanie do KDC.
2. KDC generuje klucz sesyjny, szyfruje go kluczami abonentów. Szyfruje kluczem Abonenta 2 informacje dotyczące tożsamości Abonenta 1:

   $$E_{A1,KDC}(K_{SES}, E_{A2,KDC}(K_{SES}, I_{A1}))$$

   i wysyła utworzony w ten sposób komunikat do Abonenta 1.
3. Abonent 1 deszyfruje: $D_{A1,KDC}(K_{SES}, E_{A2,KDC}(K_{SES}, I_{A1}))$
4. Abonent 1 wysyła Abonentowi 2 jego kopię klucza oraz informację o swojej tożsamości: $E_{A2,KDC}(K_{SES}, I_{A1}))$
5. Abonent 2 deszyfruje swoją kopię klucza i informacje o nadawcy: $D_{A2,KDC}(K_{SES}, I_{A1}))$
6. Abonenci realizują wymianę wiadomości, gdyż każdy z nich dysponuje kluczem sesyjnym K_{SES}

Dystrybucja kluczy – protokół Shamira

Komutatywność szyfru symetrycznego: $E_A(E_B(P)) = E_B(E_A(P))$

1. Abonent 1 generuje klucz sesyjny do komunikacji z Abonentem 2. Szyfruje ten klucz swoim kluczem i przesyła do Abonenta 2 szyfrogram C1:

   $C_1 = E_{A1}(K_{SES})$
2. Abonent 2 szyfruje wiadomość swoim kluczem i wysyła szyfrogram C_2 do Abonenta 1:

   $C_2 = E_{A2}(E_{A1} (K_{SES}))$
3. Abonent 1 deszyfruje szyfrogram C_2 za pomocą swojego klucza i przesyła szyfrogram C_3 Abonentowi 2:

   $C_3 = D_{A1}(E_{A2}(E_{A1} (K_{SES}))) = D_{A1}(E_{A1} (E_{A2}(K_{SES}))) = E_{A2} (K_{SES})$
4. Abonent 2 deszyfruje szyfrogram C_3 w celu otrzymania klucza sesyjnego:

   $D_{A2}(E_{A2}(K_{SES}))$
5. Każdy z abonentów dysponuje kluczem sesyjnym K_{SES}

Dystrybucja kluczy - *EKE (Encrypted Key Exchange*) -1

Abonenci ustalają wspólne hasło **P**.

1. Abonent 1 generuje klucz jawny **K'** do komunikacji z Abonentem 2. Szyfruje ten klucz algorytmem symetrycznym wykorzystując klucz **P** i przesyła do Abonenta 2:

   $E_P (K')$
2. Abonent 2 deszyfruje wiadomość (zna hasło P), wytwarza klucz sesyjny, szyfruje go kluczem jawnym K' i kluczem tajnym P oraz wysyła szyfrogram do Abonenta 1:

   $D_P (K') ; \quad E_P (E_{K'} (K_{SES}))$
3. Abonent 1 deszyfruje wiadomość i uzyskuje klucz sesyjny. Wytwarza następnie ciąg losowy R_{A1}, szyfruje go kluczem sesyjnym i przesyła szyfrogram Abonentowi 2:

   $D_P (D_{K'} (K_{SES})) ; \quad E_{SES} (R_{A1})$

Dystrybucja kluczy - *EKE (Encrypted Key Exchange*) -2

4. Abonent 2 deszyfruje szyfrogram w celu otrzymania R_{A1}. Wytwarza następnie ciąg R_{A2}, szyfruje oba ciągi kluczem sesyjnym i przesyła Abonentowi 1:

   $D_{SES}(R_{A1}) ; \quad E_{SES} (R_{A1}, R_{A2})$
5. Abonent 1 deszyfruje szyfrogram w celu otrzymania R_{A1} i R_{A2} Porównuje wysłany i odebrany ciąg R_{A1}. Jeżeli są zgodne, to szyfruje R_{A2} kluczem sesyjnym i przesyła Abonentowi 2:

   $D_{SES}(R_{A1} , R_{A2}) ; \quad E_{SES} (R_{A2})$
6. Abonent 2 deszyfruje szyfrogram w celu otrzymania R_{A2} Porównuje wysłany i odebrany ciąg R_{A2}. Jeżeli są zgodne, to oznacza, że obie strony mogą komunikować się przy pomocy klucza sesyjnego.

Dystrybucja kluczy - protokół PODSTAWOWY dla systemów asymetrycznych

1. Abonent 2 przesyła do Abonenta 1 swój klucz jawny:

   K_{JA2}
2. Abonent 1 generuje losowy klucz sesyjny, szyfruje go używając klucza jawnego Abonenta 2 i przesyła do Abonenta 2:

   $E_{JA2} (K_{SES})$
3. Abonent 2 deszyfruje wiadomość za pomocą swojego klucza tajnego (prywatnego) i uzyskuje klucz sesyjny.

   $D_{PA2} (K_{SES})$

Dystrybucja kluczy – protokół blokujący 1

1. Abonent 1 przesyła swój klucz jawny Abonentowi 2:

   K_{JA1}
2. Abonent 2 przesyła swój klucz jawny Abonentowi 1:

   K_{JA2}
3. Abonent 1 generuje losowo klucz sesyjny, szyfruje go używając klucza jawnego Abonenta 2 i przesyła połowę zaszyfrowanej wiadomości do Abonenta 2:

   $^1/_2 \, E_{JA2} (K_{SES})$
4. Abonent 2 szyfruje swoją wiadomość za pomocą klucza jawnego Abonenta 1 i też przesyła połowę wiadomości:

   $^1/_2 \, E_{JA1} (K_{SES})$

Dystrybucja kluczy – protokół blokujący 2

5. Abonent 1 przesyła drugą połowę zaszyfrowanej wiadomości do Abonenta 2:

   $^1/_2\ E_{JA2}\ (K_{SES})$

6. Abonent 2 składa razem dwie połowy wiadomości i deszyfruje je, używając swego klucza prywatnego. Przesyła też drugą połowę swojej wiadomości:

   $D_{PA2}\ (^1/_2\ E_{JA2}\ (K_{SES})) + ^1/_2\ E_{JA2}\ (K_{SES}))$;

   $^1/_2\ E_{JA1}\ (K_{SES})$

7. Abonent 1 składa razem dwie połowy wiadomości i deszyfruje je, używając swego klucza prywatnego:

   $D_{PA1}\ (^1/_2\ E_{JA1}\ (K_{SES})) + ^1/_2\ E_{JA1}\ (K_{SES}))$;

8. Abonenci realizują wymianę wiadomości, gdyż każdy z nich dysponuje kluczem sesyjnym K_{SES}

Algorytm Diffie-Hellmana

1. Abonent 1 wybiera dużą liczbę x i oblicza $X = g^x \bmod n$
2. Abonent 2 wybiera dużą liczbę y i oblicza $Y = g^y \bmod n$
3. Abonent 1 wysyła liczbę X do Abonenta 2

   (x jest utrzymywana w tajemnicy)
4. Abonent 2 wysyła liczbę Y do Abonenta 1

   (y jest utrzymywana w tajemnicy)
5. Abonent 1 oblicza: $k = Y^x \bmod n$
6. Abonent 2 oblicza: $k' = X^y \bmod n$

Czyli: $k = k' = g^{xy} \bmod n$

to jednakowe klucze tajne (sesyjne)

obliczone przez abonentów niezależnie od siebie

Infrastruktura klucza publicznego

Zbiór sprzętu, oprogramowania, ludzi, polityki oraz procedur niezbędnych do tworzenia, zarządzania, przechowywania, dystrybucji oraz odbierania certyfikatów opartych na kryptografii z kluczem publicznym.

Celem infrastruktury klucza publicznego (PKI -*Public Key Infrastructure*) jest zapewnienie zaufanego i wydajnego zarządzania kluczami oraz certyfikatami. PKI jest zdefiniowana w dokumencie *Internet X.509 Public Key Infracture*

Komponenty PKI

- **Wydawcy certyfikatów – CA (*Certification Authorities*), którzy przydzielają i odbierają certyfikaty.**
- **Autorytety rejestracji – ORA (*Organizational Registration Authorities*), poręczający za powiązania pomiędzy kluczami publicznymi, tożsamością posiadaczy certyfikatów i innymi atrybutami.**
- **Posiadacze certyfikatów - którzy mogą używać podpisu cyfrowego.**
- **Klienci - którzy weryfikują i zatwierdzają podpisy cyfrowe oraz ich ścieżki certyfikowania prowadzące od znanych publicznych kluczy zaufanych CA.**
- **Magazyny - które przechowują i udostępniają certyfikaty oraz listy unieważnień certyfikatów CRL (*Certification Revocation List*).**

Funkcje PKI

- **Rejestracja**
- **Inicjacja**
- **Certyfikowanie**
- **Odzyskiwanie par kluczy**
- **Generowanie kluczy**
- **Uaktualnianie kluczy**
- **Certyfikowanie przechodnie**
- **Unieważnienie**

Struktura certyfikatu X.509

- **Numer wersji** – numer wersji formatu certyfikatu
- **Numer seryjny** – numer przydzielony certyfikatowi przez CA. Unikalny w obrębie funkcjonowania CA.
- **Identyfikator algorytmu** – określa algorytm użyty do podpisania certyfikatu i jego parametry
- **Identyfikator wystawcy** – nazwa CA, który wydał i podpisał certyfikat
- **Okres ważności** – data początku i końca ważności certyfikatu
- **Użytkownik certyfikatu** – określa użytkownika
- **Informacja o kluczu publicznym** – klucz publiczny użytkownika oraz identyfikator algorytmu, który będzie ten klucz wykorzystywał.
- **Rozszerzenia** – informacje dodatkowe
- **Podpis cyfrowy** – uwierzytelnia pochodzenie certyfikatu. Funkcja skrótu jest stosowana do wszystkich pól certyfikatu (oprócz pola podpisu). Wynik *haszowania* jest szyfrowany kluczem prywatnym CA.

Proces poświadczania certyfikatu

1. **Sprawdzenie czy tożsamość nadawcy jest zgodna z opisem w certyfikacie.**
2. **Sprawdzenie czy żaden certyfikat na ścieżce uwierzytelnienia nie został unieważniony.**
3. **Sprawdzenie czy dane mają atrybuty, do których podpisujący nie jest upoważniony.**
4. **Sprawdzenie czy dane nie zostały zmienione od momentu ich podpisania.**

Zbigniew Suski BSI - kryptografia 24